

УДК 665.753.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕТНЕГО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С ДОБАВКАМИ ДРУГИХ ТОПЛИВ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

*канд. техн. наук, доц. И.Л. ТРОФИМЕНКО, канд техн. наук, доц. Н.В. ВЕПРИНЦЕВ
(Белорусско-Российский университет, Могилев)*

Рассмотрены вопросы подбора смесей, состоящих из летнего дизельного топлива с керосином или бензином, определения их физико-химических свойств с последующим сравнением со стандартными требованиями к зимнему дизельному топливу. Оценка результатов влияния добавки керосина и бензина к дизельному топливу в соответствующей пропорции проводилась по изменению мощностных показателей, расходу топлива и дымности отработавших газов. С увеличением процентного содержания керосина осветительного в смеси с дизельным летним экологически чистым топливом вязкость понижается и приближается к стандартному значению для зимнего дизельного топлива, что благоприятно сказывается на работе двигателей внутреннего сгорания при низких температурах, особенно при прокачке топлива через фильтрующий элемент. Приведены результаты сравнительных испытаний на дизельном двигателе.

Объектом исследования были дизельное летнее экологически чистое топливо (ДЛЭЧ) по ТУ 38.1011348-2003 [1] и керосин осветительный (КО) по ТУ 38.401-58-10-01, а также смеси ДЛЭЧ топлива с КО и бензином Нормаль-80. Дизельное летнее экологически чистое топливо и керосин осветительный, а также перечисленные их смеси подвергались исследованию на определение фракционного состава в соответствии с требованиями ГОСТ 2177-99 и международного стандарта ИСО 3405 на автоматизированной холодильной установке, которая выполнена в соответствии с требованиями ГОСТ 15150-69. Определение фракционного состава нефтепродуктов производилось по ГОСТ 2177-99 [2]. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты определения фракционного состава

Фракционный состав	ДЛЭЧ	КО	КО 5 %	КО 10 %	КО 15 %	КО 20 %	КО 25 %	КО 30 %
Температура начала кипения	168	157	168	162	158	156	156	156
10 % перегоняются при температуре	205	163	193	186	180	178	174	171
20 % перегоняются при температуре	224	164	212	200	192	188	182	178
30 % перегоняются при температуре	238	166	226	225	207	203	191	188
40 % перегоняются при температуре	252	167	243	234	228	222	204	200
50 % перегоняются при температуре	266	167	259	252	245	240	222	216
60 % перегоняются при температуре	279	168	273	269	267	261	253	243
70 % перегоняются при температуре	295	170	288	284	281	280	273	268
80 % перегоняются при температуре	310	171	304	303	301	298	292	287
90 % перегоняются при температуре	332	173	323	323	323	322	316	314
96 % перегоняются при температуре	355	176	343	342	341	340	337	333
Конец кипения	358	200	358	356	356	356	354	354
Остаток в колбе	1,8	1,0	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,0
Выход	96,5	99	98	98	98	98	98,4	99
Остаток + потери	3,5	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,6	1,0

По данным таблицы 1 построены графики фракционного состава (рис. 1).

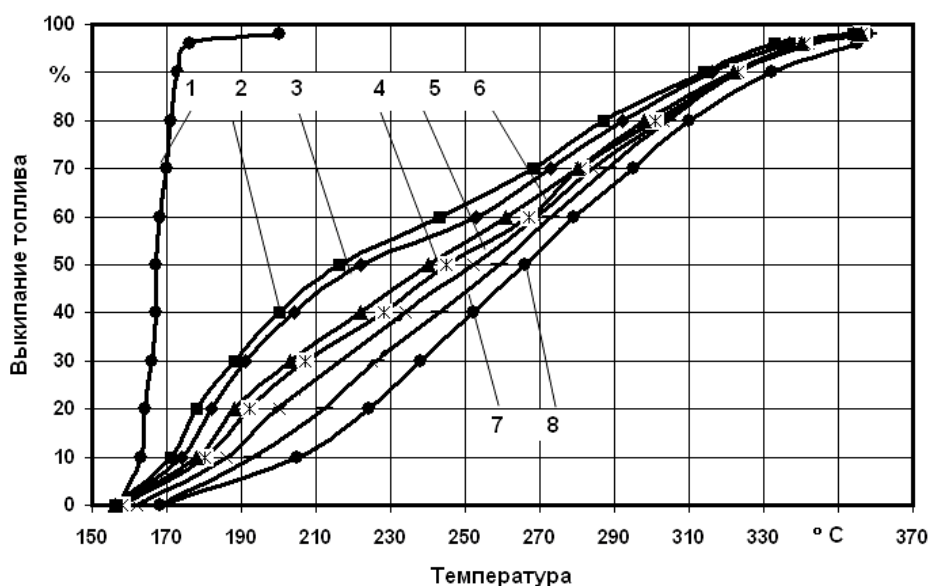


Рис. 1. Фракционный состав исследуемых объектов:
1 – КО; 2 – КО 30 %; 3 – КО 25 %; 4 – КО 20 %; 5 – КО 15 %; 6 – КО 10 %; 7 – КО 5 %; 8 – ДЛЭЧ

Примечание. Согласно [1] температура выкипания 50 и 96 % для дизельного зимнего экологически чистого топлива соответственно равна 280 и 340 °C.

Фракционный состав экспериментальных смесей в средней рабочей фракции (от 10 до 90 % выкипания топлива) легче дизельного топлива, что более приемлемо для работы двигателя в зимних условиях при низких температурах, особенно при запуске двигателя. Исследовались смеси, состоящие из ДЛЭЧ топлива и бензина Нормаль-80 (Н-80) по ГОСТ 31077-2002 «Топливо для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированный бензин».

Фракционный состав определялся в соответствии со стандартом ТУ 38.1011348-2003 по определению температуры выкипания 50 и 96 % ДЛЭЧ топлива, а также 5-, 10-, 15- и 20-процентные смеси бензина Н-80 и дизельного топлива по методике, указанной в литературе [2].

Результаты исследований приведены на рисунках 2 и 3.

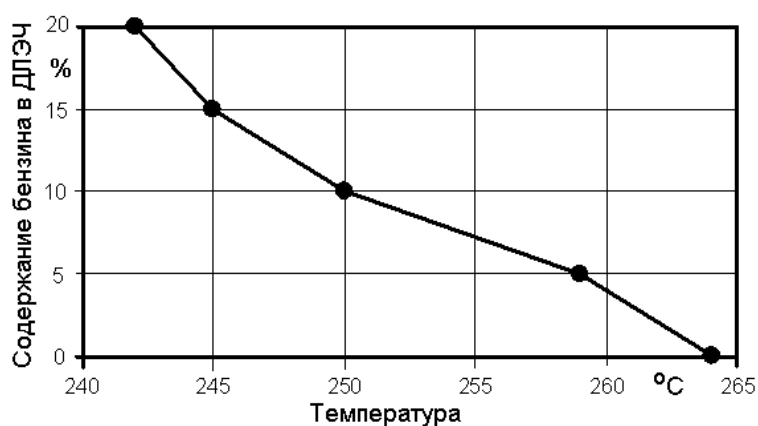


Рис. 2. Температура выкипания 50 % топлива

Фракционный состав смесей средней рабочей фракции (от 10 до 90 % выкипания топлива) находится в температурных пределах зимнего дизельного топлива, однако температура выкипания 96 % не соответствует требованиям стандарта (не выше 340 °C). Это связано с более тяжелыми фракциями летнего топлива.

Кинематическая вязкость данных смесей определялась капиллярным стеклянным вискозиметром ВПЖ-4, соответствующим требованиям ГОСТ 10028-81. Внутренний диаметр капилляра 0,62 мм, постоянная вискозиметра 0,01208 мм²/с².

При определении вязкости поддерживалась температура 20 °С и определялось время истечения нормированного объема жидкости секундомером.

Расчет вязкости проводился по формуле:

$$\gamma = \frac{g}{9,807} \cdot T \cdot K,$$

где γ – кинематическая вязкость смеси, мм²/с; g – ускорение свободного падения в месте измерения, м/с² (принималось $g = 9,807$); T – время истечения жидкости, с; K – постоянная вискозиметра, $K = 0,01208$ мм²/с².

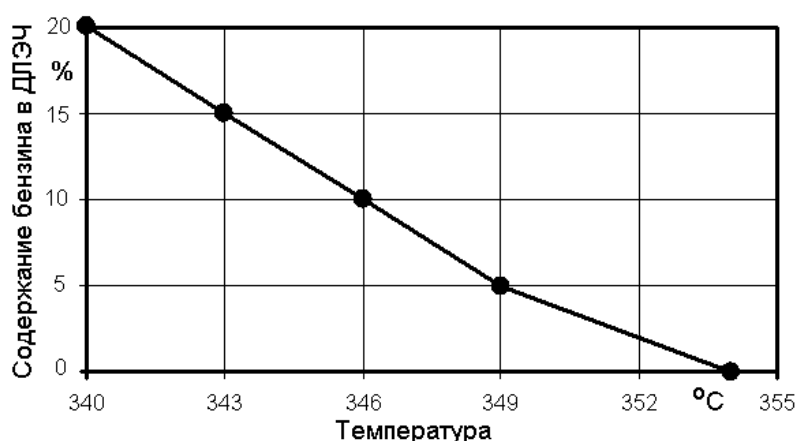


Рис. 3. Температура выкипания 96 % топлива

Плотность смесей определялась ареометром для нефти АНТ-2, выполненным в соответствии с требованиями ГОСТ 18481-81 при температуре 20 °С, как и требуют ТУ 38.1011348-2003.

Результаты измерений и расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты определения плотности и вязкости топлив

Содержание керосина в дизельном топливе, %	γ , мм ² /с	ρ_{20} , кг/м ³
5	3,658	843,0
10	3,571	838,0
15	3,525	834,0
20	3,206	831,0
25	2,994	829,0
30	2,801	827,0

Результаты исследования показывают:

- вязкость смесей находится в пределах 2,801...3,658 мм²/с, что соответствует стандартным требованиям вязкости зимнего топлива, которая должна находиться в пределах 1,8...5,0 мм²/с;
- плотность летнего дизельного топлива согласно стандарту должна быть не более 860 кг/м³, а зимнего – 840 кг/м³;
- плотность исследуемых смесей соответствует требованиям к зимнему топливу.

По полученным данным построены графики вязкости (рис. 4) и плотности смесей (рис. 5).

С увеличением процентного содержания керосина осветительного в смеси с ДЛЭЧ вязкость понижается и приближается к стандартному значению для зимнего дизельного топлива, что благоприятно сказывается на работе двигателей внутреннего сгорания при низких температурах, особенно при прокачке топлива через фильтрующий элемент.

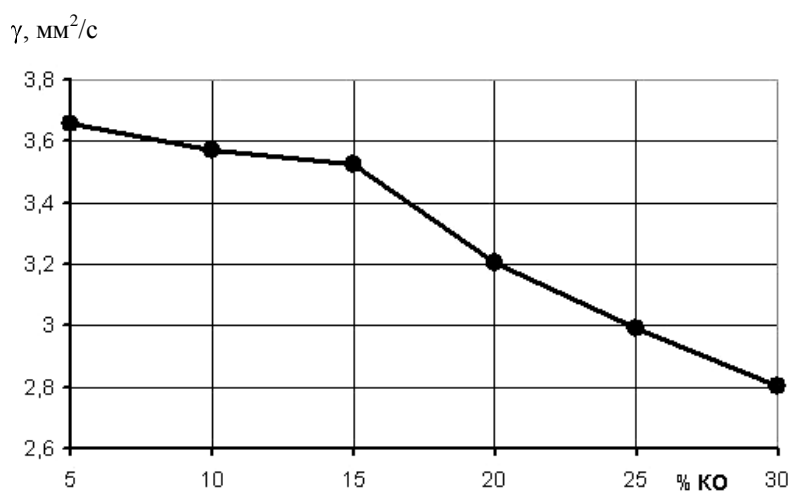


Рис. 4. График вязкости смеси дизельного топлива с керосином

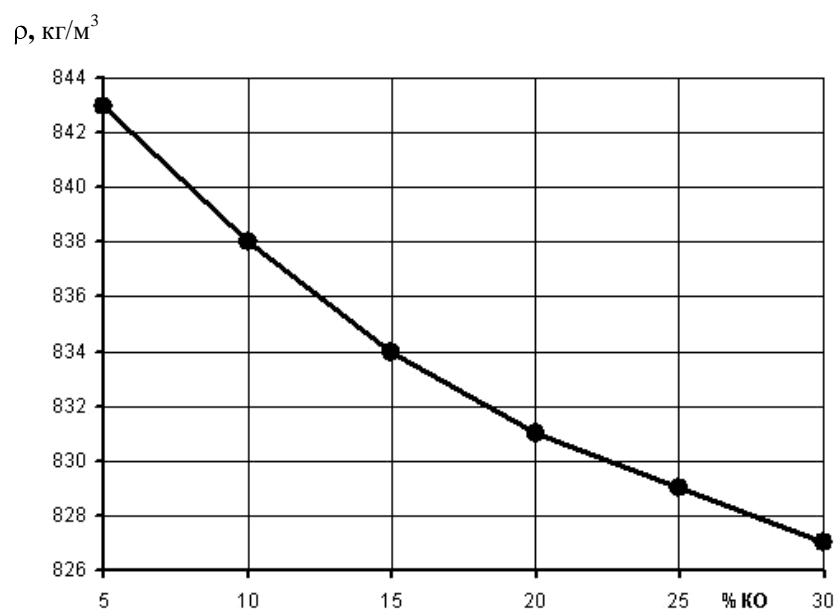


Рис. 5. График плотности смеси дизельного топлива с керосином

Как видно из рисунка 5, керосин осветительный снижает плотность ДЛЭЧ и приближает ее к стандартному значению для зимних топлив.

Исследования вязкости и плотности смеси ДЛЭЧ топлива и бензина Н-80 проводились аналогично при температурах, как требует стандарт ТУ 38.401-58-296-2005 «Топливо дизельное автомобильное (ЕН 590)» (вязкость – при 40 °С, плотность – при 20 °С). Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3

Зависимость вязкости и плотности смеси от содержания бензина Н 80

Содержание бензина в дизельном топливе, %	γ , мм ² /с	ρ_{20} , кг/м ³
5	2,42	828
10	2,11	825
15	1,91	820
20	1,916	815

Поскольку детали топливного насоса высокого давления смазываются дизельным топливом, то к вязкости предъявляются строгие требования – вязкость топлива должна быть при температуре 40 °С в пределах 2...4,5 мм²/с. В нашем случае этому значению соответствуют смеси с содержанием бензина 5 и 10 %. Стендовые испытания топливной экономичности на двигателе проводились с этими смесями.

Плотность топлива значительного влияния на работу двигателя не оказывает и укладывается в требования стандарта.

При понижении температуры парафиновые углеводороды, содержащиеся в дизельном топливе, кристаллизуются и забивают фильтр тонкой очистки, прекращая подачу топлива в топливный насос высокого давления.

Для определения температуры помутнения и застывания использовалась морозильная камера бытового холодильника. Испытуемые объекты помещались в морозильную камеру на сутки. Замораживание проводилось при температуре минус 13 °С и минус 26 °С.

После суточного пребывания в морозильной камере выполнялся анализ смесей.

При температуре –13 °С топливо было слегка матового цвета, подвижности не теряло. Фильтруемость данного топлива не проводилась. Остальные смеси КО и ДЛЭЧ были без видимых изменений.

При температуре –26 °С 30-процентная смесь КО и ДЛЭЧ топлива помутнела, также наблюдалось помутнение 5, 10, 15 и 20 % смеси бензина Н-80 и ДЛЭЧ топлива. Подвижность все эти смеси не потеряли и проходили через фильтр тонкой очистки при работе топливного насоса низкого давления.

Дизельное топливо различных составов подвергалось и испытаниям на качество распыливания.

Испытания проводились в шесть этапов:

- на первом этапе на качество распыливания испытаниям подвергается дизельное летнее экологически чистое топливо ДЛЭЧ;
- на втором этапе на качество распыливания испытаниям подвергается топливо ДЛЭЧ с добавкой 30 % керосина осветительного;
- на третьем этапе на качество распыливания испытаниям подвергается топливо ДЛЭЧ с добавкой 40 % керосина осветительного;
- на четвертом этапе на качество распыливания испытаниям подвергается топливо ДЛЭЧ с добавкой 50 % керосина осветительного;
- на пятом этапе на качество распыливания испытаниям подвергается топливо ДЛЭЧ с добавкой 5 % бензина Н 80;
- на шестом этапе на качество распыливания испытаниям подвергается топливо ДЛЭЧ с добавкой 10 % бензина Н-80.

Испытания проводились на стенде М-106 для испытания и регулировки форсунок.

По всем этапам испытания проводились на одном и том же стенде и на одной и той же форсунке. Качество распыливания топлива форсункой оценивалось по пятну распыливания, образовавшегося на фильтровальной бумаге, при рабочем ходе форсунки. Форсунка Д-21А была проверена на герметичность по времени падения давления и на давление при впрыске и соответствовала нормативным показателям.

После проведения каждого этапа испытаний испытываемое топливо полностью сливалось из системы стенда и заливалось топливо, испытываемое по следующему этапу.

Результаты исследований показали, что распыл дизельного топлива и смесей качественно не различался. Следовательно, указанное ранее процентное содержание керосина и бензина не оказывает особого влияния на качество распыла смесей в камере сгорания дизельного двигателя.

Температура вспышки топливных смесей определялась в закрытом тигле согласно требованиям стандартов. Опыты проводились для ДЛЭЧ топлива и смесей 5, 10, 15 и 20 % бензина Н-80.

Результаты испытаний приведены в таблице 4.

Таблица 4

Температура вспышки смесей

Температура вспышки	ДЛЭЧ	ДЛЭЧ + 5 % Н-80	ДЛЭЧ + 10 % Н-80	ДЛЭЧ + 15 % Н-80	ДЛЭЧ + 20 % Н-80
t _{всп} , °С	63	17	при поднесении огня	при поднесении огня	при поднесении огня

Стандартом температура вспышки для зимнего топлива, определяемая в закрытом тигле, определена не ниже 35 °С (по ТУ 38.1011348-2003) и не ниже 55 °С (по ТУ 38.401-58-296-2005 (ЕН 590)).

Следовательно, добавление 5 или 10 % бензина Н-80 в ДЛЭЧ топливо повышает пожароопасность смеси, о чем должны быть информированы водители транспортных средств.

Проводились стендовые испытания дизельного двигателя Д-21А на стенде MEZ VSETIN по расходу топлива ДЛЭЧ и различных смесей и их влияния на мощностные показатели двигателя и дымность отработавших газов, которая определялась дымомером ДО-1. Дымность определялась по ГОСТ 21393-75. Испытания проводились в шесть этапов:

- на первом этапе определялось влияние на расход топлива и мощность двигателя, работающего на летнем экологически чистом топливе ДЛЭЧ;
- на втором этапе определялся расход топлива и мощность двигателя, работающего на топливе ДЛЭЧ с добавкой 30 % керосина осветительного;
- на третьем этапе определялся расход топлива и мощность двигателя, работающего на топливе ДЛЭЧ с добавкой 40 % керосина осветительного;
- на четвертом этапе определялся расход топлива и мощность двигателя, работающего на топливе ДЛЭЧ с добавкой 50 % керосина осветительного;
- на пятом этапе определялся расход топлива и мощность двигателя, работающего на топливе ДЛЭЧ с добавкой 5 % бензина Н-80;
- на шестом этапе определялся расход топлива и мощность двигателя, работающего на топливе ДЛЭЧ с добавкой 10 % бензина Н-80.

Для получения достоверных результатов все испытания проводились на одном и том же оборудовании, при одном и том же атмосферном давлении и при одной и той же температуре окружающего воздуха и масла в двигателе.

Оценка результатов влияния добавки керосина и бензина к дизельному топливу в соответствующей пропорции проводилась по изменению мощностных показателей, расходу топлива и дымности отработавших газов.

Температура воздуха в помещении поддерживалась за счет открытия фрамуги окна, была постоянной и равной 20 °С. Температура двигателя поддерживалась также постоянной и равной 83 °С.

Для каждого этапа испытаний подготавливалось топливо ДЛЭЧ, а также ДЛЭЧ с добавкой 30, 40 и 50 % керосина осветительного, а затем с добавкой 5 и 10 % бензина Нормаль-80.

Для того чтобы полностью выработать из фильтров и системы питания топливо предыдущего этапа, на весы устанавливалась емкость, в которой находилось топливо с необходимым составом для проведения испытания по следующему этапу. Емкость содержала 700 г топлива, что превышало объем топлива, находящегося в фильтрах и системе питания дизельного двигателя в целом.

После замены предыдущего топлива в системе питания двигателя на испытуемое топливо с весов убиралась данная емкость и устанавливалась емкость с испытуемым топливом, необходимым в объеме для замера его расхода при работе двигателя.

Предварительно до начала испытаний с учетом характеристик двигателя и характеристик нагрузочного устройства выбирался наиболее устойчивый режим испытаний:

- частота вращения вала коленчатого, $n = 1260 \text{ мин}^{-1}$;
- нагрузка, $M_{кр} = 70 \text{ Н·м}$.

Работа двигателя, установленного на заданный режим, не прекращалась с начала испытаний по первому этапу до конца шестого этапа.

Замер расхода топлива по всем шести этапам производился на весах, начиная с 50 г и кончая весом 550 г. На каждом из шести этапов определялась дымность отработавших газов согласно ГОСТ 21393-75 в режиме свободного ускорения и максимальной частоты вращения.

Расчет топливной экономичности двигателя проводился по следующим выражениям:

- удельный расход топлива

$$g_e = \frac{G_T}{N_{\text{дв}}}, \quad \frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}},$$

где G_T – часовой расход топлива.

$$G_T = \frac{G_{\text{молл}}}{t_{\text{раб}}}, \quad \frac{\text{г}}{\text{ч}};$$

- мощность двигателя

$$N_{\text{дв}} = \frac{M_{кр} \cdot 9,815n \cdot \pi}{1000 \cdot 30}, \quad \text{кВт},$$

где $M_{кр} = 70 \text{ Н·м}$; $n = 1260 \text{ с}^{-1}$; $\pi = 3,14$.

Результаты испытаний показали, что при постоянно работающем двигателе на всех шести этапах испытаний его мощностные показатели лежали в пределах 70 Н·м при частоте вращения 1260 мин⁻¹. Расход топлива составлял 273,2...278,24 г/кВт·ч. Дымность отработавших газов по всем шести циклам испытаний соответствовала требованиям ГОСТ 21393-75 и находилось в пределах 28...35 % при свободном ускорении и в пределах 10...14 % при максимальной частоте вращения [3].

Измерения на режиме свободного ускорения производились при 10-кратном повторении цикла частоты вращения коленчатого вала дизеля от минимальной до максимальной быстрым, но плавным нажатием рычага подачи топлива до упора. Интервал составлял не более 15 с. Замер показателей производился при последних шести циклах по максимальному отклонению стрелки прибора.

За результат измерения дымности принималось среднее арифметическое значение по шести циклам.

Измерение на режиме максимальной частоты вращения проводилось при стабилизации показаний прибора (размах колебаний стрелки прибора не превышал 6 единиц измерения по шкале прибора) не позднее чем через 60 с после измерений на режиме свободного ускорения.

За результат измерения принималось среднее арифметическое значение от крайних значений диапазона допустимых колебаний. Среднее значение составило 12 %.

Замер шума определялся прибором CENTER 320. Шум работы двигателя во всех опытах был без изменений и равнялся 93,9 дБА.

Заключение. Исследования показали, что фракционные составы смесей с добавками КО в процентном отношении от 5 до 30 % и бензина Нормаль-80 от 5 до 10 % приближают характеристики ДЛЭЧ топлива к характеристикам зимнего дизельного топлива.

На наш взгляд, при необходимости, в зимних условиях в зависимости от температуры внешней среды возможно использовать летнее дизельное топливо с добавкой керосина осветительного в объеме 20, 30 %. При отсутствии керосина представляется возможным добавка к летнему дизельному топливу бензина в количестве от 5 до 10 % по отношению к объему дизельного топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Топливо дизельное экологически чистое. Технические условия: ТУ 38.101 1348-2003.
2. Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава: ГОСТ 2177-99. ЕСКД. – М.: ИПК: Изд-во стандартов, 1999. – 24 с.
3. Автомобили с дизелями. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерений: ГОСТ 21393-75. ЕСКД. – М.: ИПК: Изд-во стандартов, 1975. – 12 с.

Поступила 25.03.2010

RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF SUMMER DIESEL FUEL USAGE IN THE CONDITIONS OF LOW TEMPERATURES

I. TROFIMENKO, N. VEPRINCEV

The questions of proportioning summer diesel fuel and kerosene or gasoline and determining its physico-chemical properties with the following tests of conformance with requirements of standards for winter diesel fuel is presented in the paper. The results of its tests on diesel engine are given.